Ordine degli Ingegneri della provincia di Modena

Fire Safety Engineering

Teoria della Fire Safety Engineering

25.10.2023

Ing. Daniele Andriotto
Fire Engineer
393 5283518
andriottodaniele@gmail.com

SOLUZIONI ALTERNATIVE CON RICORSO ALLA F.S.E.

Teoria

- definizione della Reazione chimica di combustione,
- definizione della Potenza Termica Rilasciata dall'incendio (RHR) tramite Codice di Prevenzione Incendi,
- la Resistenza al fuoco delle strutture analisi dei carichi, la Resistenza al fuoco delle strutture degrado dei materiali, la Resistenza al fuoco delle strutture: effetti delle elevate temperature,
- esodo Metodo di calcolo analitico sul confronto ASET e RSET, esodo concetto di Wayfinding e del ΔTcode introdotto dal Codice di Prevenzione Incendi,
- controllo dei fumi e del calore smaltimento di emergenza, controllo dei fumi e del calore sistema di controllo secondo UNI9494 o normative internazionali,
- compartimentazione Antincendio teoria della piastra radiante;

DEFINIZIONE DI REAZIONE CHIMICA

Una reazione chimica consiste in una ridistribuzione degli atomi di molecole, in molecole o aggregati diversi da quelli esistenti precedentemente e quindi nella formazione di sostanze nuove, costituite dagli stessi elementi (atomi) da cui hanno preso origine.

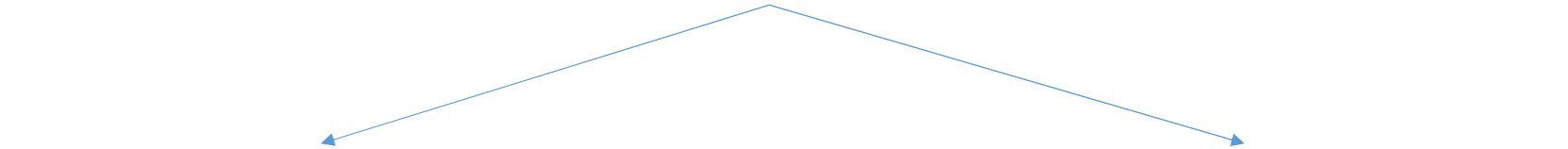
Una reazione è ***completa*** quando nello stato finale le sostanze reagenti non sono più presenti o lo sono in quantità trascurabili, ovvero tutti i reagenti si sono ricombinati trasformandosi in prodotti.

Una reazione è ***incompleta*** o parziale quando nello stato finale oltre ai prodotti della reazione è presente ancora una parte più o meno cospicua delle sostanze reagenti.

Noi avremo a che fare con una ossidoriduzione esotermica

Influenza della velocità della reazione chimica

A seconda della velocità



Combustione (reazione «lenta»)

Esplosione (reazione «veloce»)

La velocità di reazione (la velocità con la quale i reagenti si trasformano nei prodotti) costituisce l'aspetto determinante e caratterizzante del fenomeno.
Temperatura e concentrazione dei reagenti sono i parametri che più influenzano la velocità di reazione.
Dalla temperatura dipende la velocità di decomposizione o di vaporizzazione, il calore sviluppato a sua volta facilita la decomposizione del combustibile, alimentando la reazione a catena

Definizione di combustione

Combustione

Si definisce combustione qualunque reazione chimica nella quale un combustibile, sostanza ossidabile, reagisce con un comburente, sostanza ossidante, liberando energia, in genere sotto forma di calore.
La combustione è in particolare una reazione rapida di ossidazione caratterizzata da una emissione di calore e di vari prodotti della combustione.
Affinché si verifichi la combustione occorre che si combinino tra loro tre elementi essenziali:

Combustibile

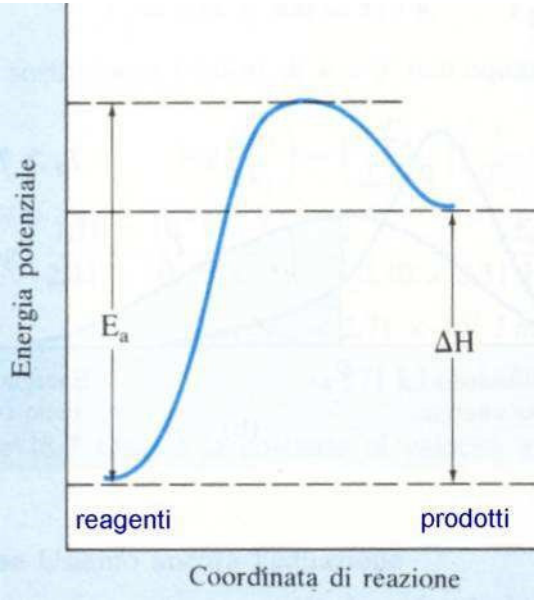
materiale in grado di combinarsi chimicamente con l'ossigeno con emissione di energia termica

Comburente

la sostanza atta ad alimentare la combustione mediante ossidazione del combustibile con ossigeno

Sorgente di energia

sufficiente a dare avvio alla combustione.



Energia di Attivazione

Per passare dai reagenti ai prodotti la reazione deve superare un salto energetico (una barriera di potenziale): questa è l'energia di attivazione. L'energia di attivazione è un ostacolo all'evoluzione della reazione verso l'equilibrio

Combustione con cui abbiamo a che fare abitualmente è un processo di ossidazione rapida di un combustibile con un comburente che da luogo allo sviluppo di calore, gas, fumi.

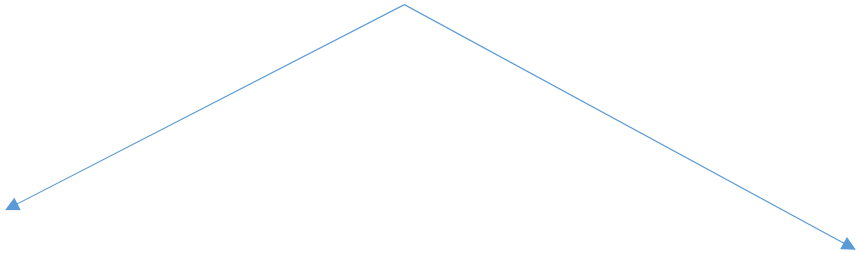
La maggior parte delle combustioni avviene in fase gassosa.

- Combustibili liquidi: le molecole di combustibile che si trovano in fase liquida per effetto della temperatura passano in fase gassosa e successivamente avviene la combustione della fase aeriforme

- Combustibili solidi: si ha prima un passaggio dalla fase solida a quella di vapore di alcune sostanze che bruciano subito e successivamente si ha la combustione del carbonio nel residuo. La combustione può avvenire con o senza sviluppo di fiamme superficiali.

La combustione può avvenire con o senza sviluppo di fiamme superficiali. La combustione senza fiamma superficiale si verifica quando la sostanza combustibile non è più in grado di sviluppare particelle volatili e in questo caso si parla di braci.

La combustione durante un incendio può essere di due tipi



Incendio controllato dal combustibile

la quantità di comburente è sufficiente ad alimentare la reazione, l'emissione di potenza termica proporzionale alla quantità di combustibile incendiato. Siamo nel caso di incendi all'aperto o degli incendi al chiuso in fase iniziale.

Incendio controllato dal comburente

la quantità di comburente non è sufficiente ad alimentare la reazione, l'emissione di potenza termica è inferiore e l'incendio procede più lentamente. Siamo nel caso di incendi al chiuso

La combustione durante un incendio può essere di due tipi

Incendio controllato dal combustibile

3. Se lo sviluppo dell'incendio risulta *controllato dal combustibile*, come accade *all'aperto* o in edifici con *elevata superficie di ventilazione*, il valore di RHR_{max} può essere fornito dalla seguente espressione:

$$RHR_{max} = RHR_f A_f \qquad \text{M.2-3}$$

Incendio controllato dal comburente

4. Se lo sviluppo dell'incendio risulta *limitato dal valore della superficie di ventilazione*, come generalmente si verifica in edifici con superficie di *ventilazione ordinaria*, allora il valore di RHR_{max} deve essere ridotto in conseguenza della quantità di comburente disponibile che può affluire dalle superfici di ventilazione presenti nella fase di post-flashover. In tal caso, se le pareti del compartimento presentano solo aperture verticali, è possibile determinare il valore di RHR_{max} ridotto tramite la seguente espressione semplificata:

$$RHR_{max} = 0{,}10\, m\, H_u A_v \sqrt{h_{eq}} \qquad \text{M.2-4}$$

con:

- m fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del presente documento.
- H_u potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.
- A_v area totale delle *aperture verticali* su tutte le pareti del compartimento $[m^2]$

La combustione durante un incendio può essere di due tipi

Incendio controllato dal combustibile

la quantità di comburente è sufficiente ad alimentare la reazione, l'emissione di potenza termica proporzionale alla quantità di combustibile incendiato. Siamo nel caso di incendi all'aperto o degli incendi al chiuso in fase iniziale.

Incendio controllato dal comburente

la quantità di comburente non è sufficiente ad alimentare la reazione, l'emissione di potenza termica è inferiore e l'incendio procede più lentamente. Siamo nel caso di incendi al chiuso

Sorgenti di innesco

Accensione indiretta

il calore d'innesco viene fornito con processi di trasmissione del calore: convezione, irraggiamento e conduzione.

Accensione diretta

quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno.
Esempi:
operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche.

Attrito

Il calore viene prodotto dallo sfregamento di due materiali.
Esempi:
malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti, motori; urti; rottura violenta di materiali metallici.

Autocombustione o riscaldamento spontaneo

Il calore viene prodotto dallo stesso combustibile, ad esempio con lenti processi di ossidazione, reazione chimiche, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica. Esempi: cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti di olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali.

Prodotti della combustione

Gas di combustione

La produzione di tali gas in un incendio dipende dal tipo di combustibile, dalla percentuale di ossigeno e dalla temperatura raggiunta, dalla

Calore

Provoca l'aumento della temperatura dei materiali esposti, provocandone il danneggiamento fino alla distruzione.
È la causa principale della propagazione degli incendi

Fumi

Sono formati da piccolissime particelle solide (aerosol), liquide (nebbie o vapori condensati). L'elemento caratteristico dell'incendio e ne identifica la presenza.

Irraggiamento

Cenno delle basi fisiche – Modello Corpo Nero

Corpo nero: tutta l'energia incidente viene assorbita indipendentemente dalla lunghezza d'onda λ considerata. Un corpo che abbia simili caratteristiche non esiste in natura ma costituisce un modello ideale molto importante nello studio dell'irraggiamento

Caratteristiche del corpo nero nero:
-assorbimento totale della radiazione incidente (a=1)
- a un'assegnata temperatura e lunghezza d'onda nessun corpo può emettere più del corpo nero
- emettitore diffuso: emette con intensità uniforme in tutte le direzioni

…è un fonte di emissione e assorbimento ideale

La legge di stefan-Boltzmann lega il potere emissivo integrale q_0 del corpo nero alla sua temperatura T:

$$q_0 = \sigma_0 T^4$$

$$\sigma_0 = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

Irraggiamento – Fattori di vista

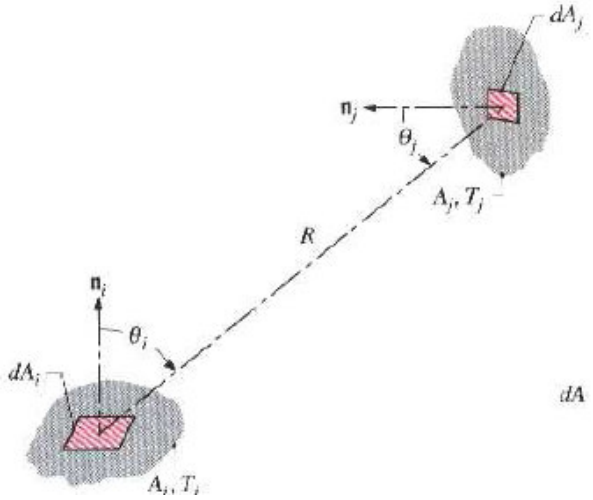
La parte più importante e più difficile deriva dal fatto che l'irraggiamento è un onda elettromagnetica e quanta energia tramette dipende da come incede sul bersaglio

Irraggiamento – Fattori di vista

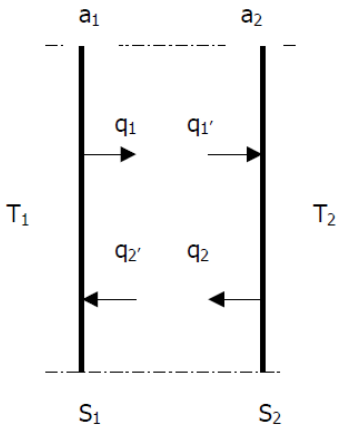
Vengono quindi introdotti i fattori di forma e di vista

Banalizzando come si guardano e come si vedono i corpi

Modello Semplificato



Potenza scambiata tra due superfici affacciate di estensione infinita:



Irraggiamento nel codice di prevenzione incendi

S.3.8 Distanza di separazione per limitare la propagazione dell'incendio

1. L'interposizione della *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività o verso altre attività consente di limitare la propagazione dell'incendio.

2. Ai fini della definizione di una *soluzione conforme* per la presente misura antincendio, il progettista impiega la *procedura tabellare* indicata al paragrafo S.3.11.2 oppure la *procedura analitica* del paragrafo S.3.11.3, imponendo ad un valore pari a 12,6 kW/m^2 la soglia E_{soglia} di irraggiamento termico incidente sul *bersaglio* prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.

   Tale soglia è considerata adeguatamente conservativa per limitare l'innesco di qualsiasi tipologia di materiale, in quanto rappresenta il valore limite convenzionale entro il quale non avviene innesco del *legno* in aria stazionaria.

3. Il progettista è tenuto a verificare almeno le seguenti tipologie di *sorgenti* e *bersagli*:

   a. opere da costruzione,

   b. depositi di materiali combustibili, anche ubicati in *spazio a cielo libero*.

4. Qualora il carico d'incendio q_f nei compartimenti o dei depositi di materiali combustibili dell'attività sia < 600 MJ/m^2, si considera *soluzione conforme* anche l'interposizione di *spazio scoperto* tra sorgente e bersaglio.

Nota La distanza di separazione calcolata con metodo analitico può differire da quella ottenuta con il metodo tabellare di cui al paragrafo S.3.11.2, a causa delle approssimazioni introdotte nelle tabelle S.3-10 e S.3-11.

Irraggiamento nel codice di prevenzione incendi

S.3.11.1 Generalità

1. Nel presente paragrafo si illustrano i metodi per determinare la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra *sorgente* e *bersaglio*, che consente di limitare ad una soglia prefissata E_{soglia} l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Si definiscono *elementi radianti* le aperture ed i rivestimenti della facciata della sorgente tramite i quali viene emesso verso l'esterno il flusso di energia radiante dell'incendio (es. finestre, porte-finestre, rivestimenti di facciata combustibili, pannellature metalliche, vetrate, aperture in genere, …).
3. Il *piano radiante* è una delle superfici convenzionali della sorgente. Il progettista individua, per ciascuna opera da costruzione, uno o più piani radianti rispetto ai quali determinare le distanze di separazione.
4. Per determinare ciascun piano radiante, si approssimano le chiusure d'ambito dell'opera da costruzione sorgente con piani verticali tangenti e non intersecanti la costruzione stessa come mostrato nell'illustrazione S.3-1. A tal fine possono essere omessi gli elementi aggettanti incombustibili (es. sbalzi aperti, balconi, sporti di gronda, …). Eventuali arretramenti della facciata possono essere considerati a livello della facciata stessa.

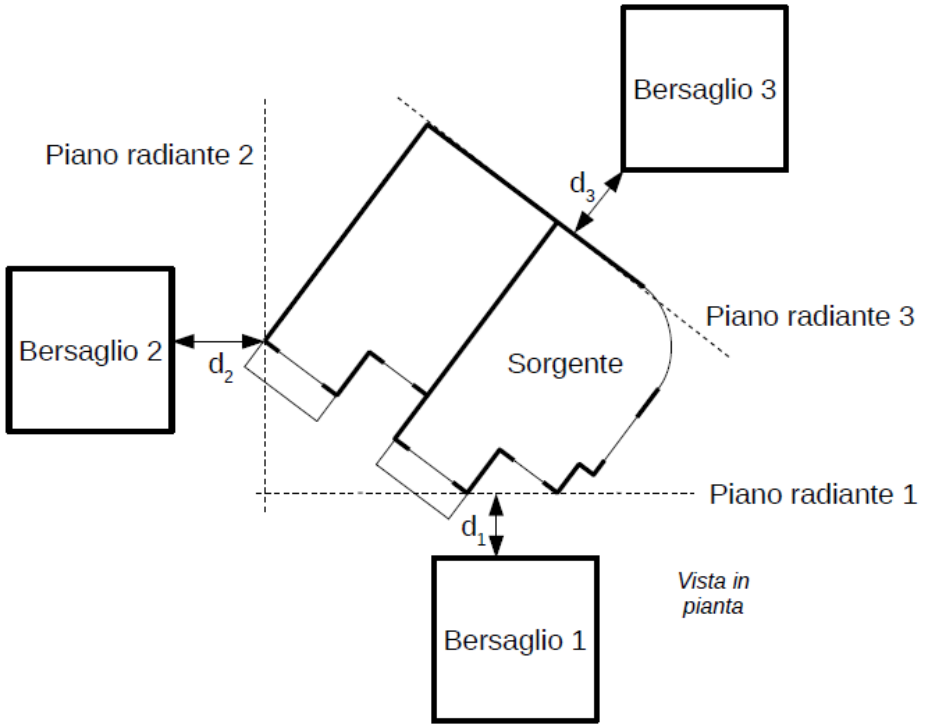
PAROLE CHIAVE

Distanza
Separazione
Sorgente
Bersaglio
Elemento radiante
Piano Radiante

Irraggiamento nel codice di prevenzione incendi

Generalità

1. Nel presente paragrafo si illustrano i metodi per determinare la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra *sorgente* e *bersaglio*, che consente di limitare ad una soglia prefissata E_{soglia} l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Si definiscono *elementi radianti* le aperture ed i rivestimenti della facciata della sorgente tramite i quali viene emesso verso l'esterno il flusso di energia radiante dell'incendio (es. finestre, porte-finestre, rivestimenti di facciata combustibili, pannellature metalliche, vetrate, aperture in genere, …).
3. Il *piano radiante* è una delle superfici convenzionali della sorgente. Il progettista individua, per ciascuna opera da costruzione, uno o più piani radianti rispetto ai quali determinare le distanze di separazione.
4. Per determinare ciascun piano radiante, si approssimano le chiusure d'ambito dell'opera da costruzione sorgente con piani verticali tangenti e non intersecanti la costruzione stessa come mostrato nell'illustrazione S.3-1. A tal fine possono essere omessi gli elementi aggettanti incombustibili (es. sbalzi aperti, balconi, sporti di gronda, …). Eventuali arretramenti della facciata possono essere considerati a livello della facciata stessa.

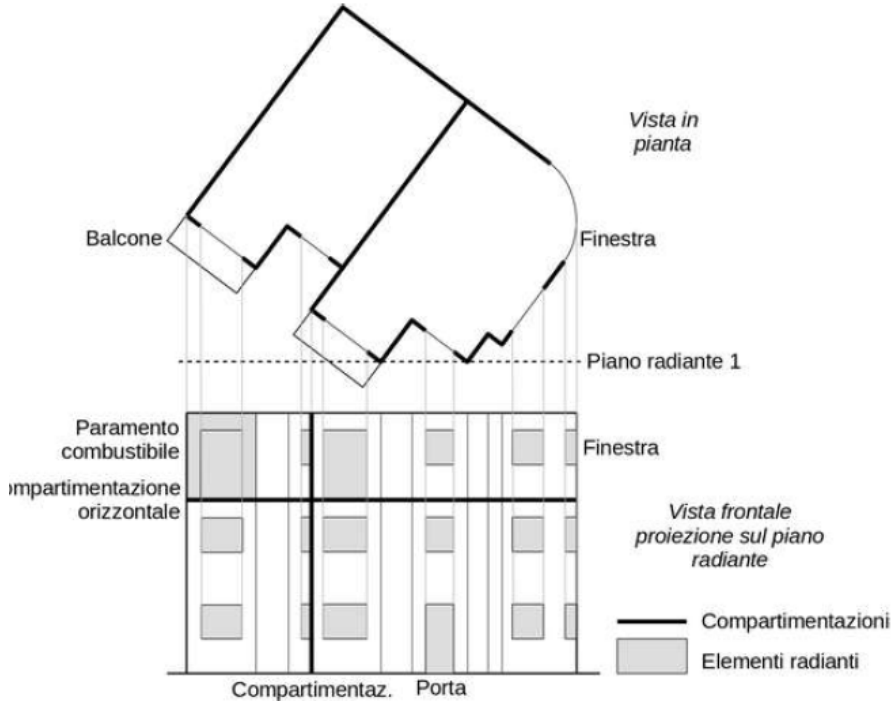


Irraggiamento nel codice di prevenzione incendi

5. Come mostrato nell'illustrazione S.3-2, sul piano radiante si proiettano ortogonalmente dalla sorgente:
   a. la geometria degli elementi radianti;
   b. i confini di compartimentazione (es. solai resistenti al fuoco, pareti resistenti al fuoco, …).

6. È definita *piastra radiante* ciascuna porzione del *piano radiante* impiegata per il calcolo semplificato dell'irraggiamento termico dalla sorgente a bersaglio. Per ciascun piano radiante sono individuate dal progettista una o più piastre radianti.

7. Per determinare le piastre radianti, in ogni porzione di piano radiante delimitata dalle proiezioni dei confini di compartimentazione, si esegue l'inviluppo delle proiezioni degli elementi radianti prima definiti per mezzo di rettangoli di base B_i ed altezza H_i, come mostrato nell'illustrazione S.3-2 ed S.3-3. Tali rettangoli così ottenuti rappresentano le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.

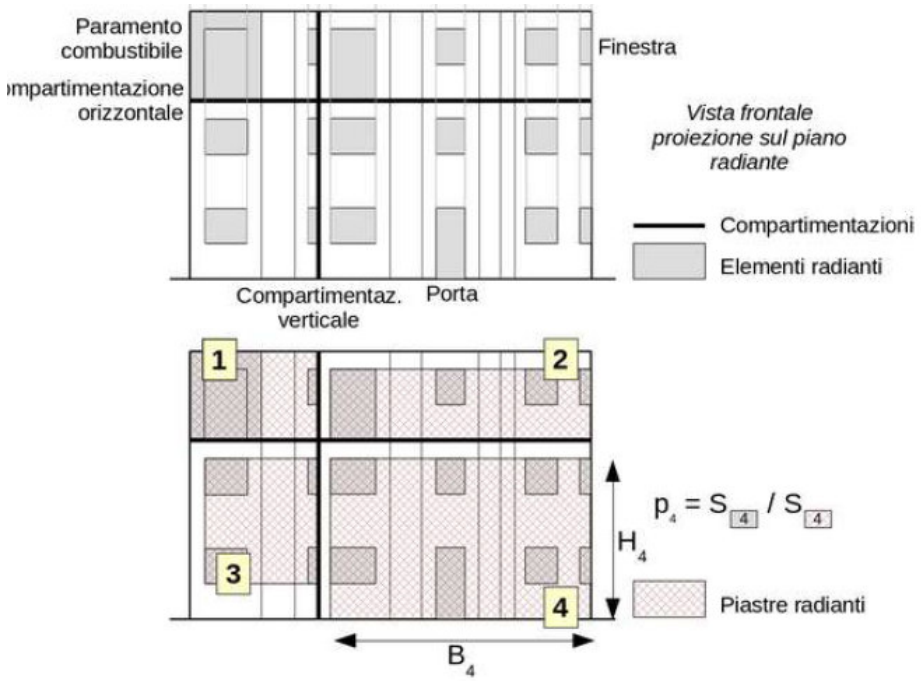


Irraggiamento nel codice di prevenzione incendi

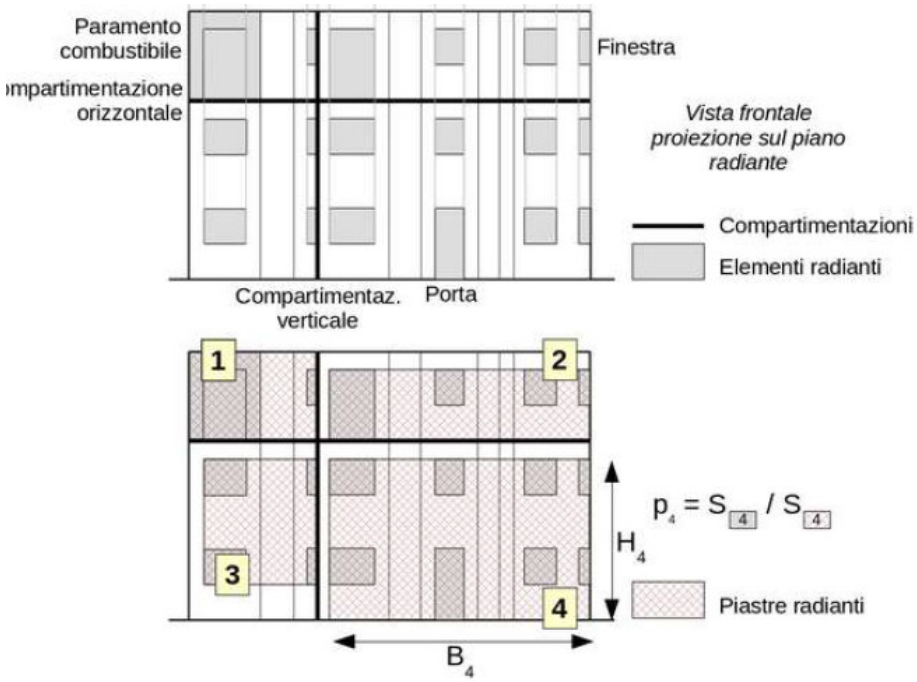
5. Come mostrato nell'illustrazione S.3-2, sul piano radiante si proiettano ortogonalmente dalla sorgente:
   a. la geometria degli elementi radianti;
   b. i confini di compartimentazione (es. solai resistenti al fuoco, pareti resistenti al fuoco, …).

6. È definita *piastra radiante* ciascuna porzione del *piano radiante* impiegata per il calcolo semplificato dell'irraggiamento termico dalla sorgente a bersaglio. Per ciascun piano radiante sono individuate dal progettista una o più piastre radianti.

7. Per determinare le piastre radianti, in ogni porzione di piano radiante delimitata dalle proiezioni dei confini di compartimentazione, si esegue l'inviluppo delle proiezioni degli elementi radianti prima definiti per mezzo di rettangoli di base B_i ed altezza H_i, come mostrato nell'illustrazione S.3-2 ed S.3-3. Tali rettangoli così ottenuti rappresentano le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.



Vista in pianta
Balcone
Finestra
Piano radiante 1
Paramento combustibile
Compartimentazione orizzontale
Finestra
Vista frontale proiezione sul piano radiante
Compartimentazioni
Elementi radianti
Compartimentaz.
Porta


Paramento combustibile
Compartimentazione orizzontale
Finestra
Vista frontale proiezione sul piano radiante
Compartimentazioni
Elementi radianti
Compartimentaz. verticale
Porta
1
2
3
4
H_4
B_4
$p_4 = S_4 / S_4$
Piastre radianti

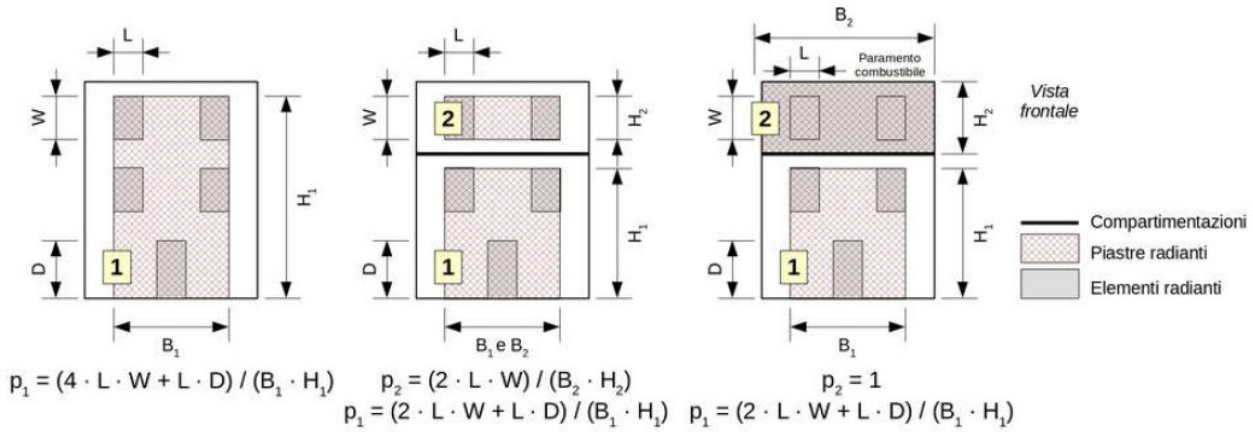


Illustrazione S.3-3: Esempio percentuale di foratura della i-esima piastra radiante, vista frontale

8. Per ciascuna *piastra radiante* si esegue il calcolo della *percentuale di foratura* p_i, come mostrato nell'illustrazione S.3-3, il cui valore non può comunque risultare < 0,2:

$$p_i = S_{rad,i} / S_{pr,i} \qquad \text{S.3-1}$$

con:

p_i percentuale di foratura;

$S_{rad,i}$ superficie complessiva delle proiezioni degli *elementi radianti* comprese nella i-esima *piastra radiante;*

$S_{pr,i}$ superficie complessiva della i-esima piastra radiante.

9. Qualora la sorgente non abbia pareti laterali (es. tettoia, deposito di materiale combustibile all'aperto, …) la percentuale di foratura p_i è assunta pari ad 1.

Determinazione Tabellare

Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

1. La presente *procedura tabellare* consente di determinare la distanza di separazione che limita ad un valore E_{soglia} pari a 12,6 kW/m^2 l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.

Perché? 12,5 kW

10.3.3.2 Equations (10.5), (10.6), and (10.7) are plotted in Figure 10.3.3.2. This graph can be used as a solution by reading up the appropriate curve to locate the separation distance, then finding the corresponding critical rate of heat release.

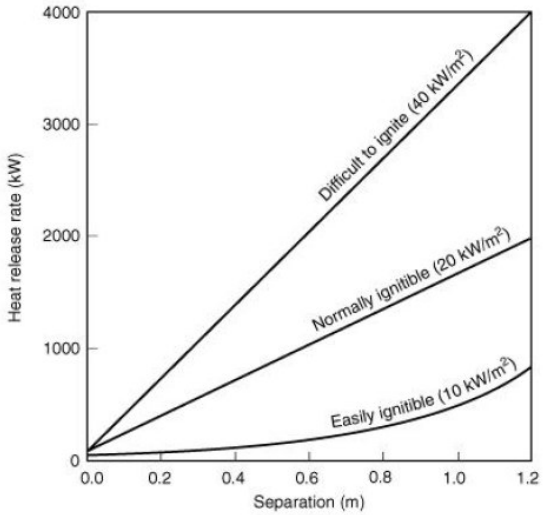


FIGURE 10.3.3.2 The Inverse Equation — Separation Distance versus Rate of Heat Release.

Determinazione Tabellare

3. Per l'i-esima piastra radiante, la distanza di separazione d_i è calcolata con la seguente relazione:

$$d_i = \alpha_i p_i + \beta_i \qquad \text{S.3-2}$$

con:

d_i	distanza di separazione	[m]
p_i	percentuale di foratura per l'i-esima piastra radiante	
α_i, β_i	coefficienti ricavati alternativamente dalle tabelle S.3-10 o S.3-11 in relazione al carico di incendio specifico q_f nella porzione d'edificio retrostante l'i-esima piastra radiante ed alle dimensioni della piastra radiante B_i ed H_i.	

4. Qualora il compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante sia dotato di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6), la relativa distanza di separazione d_i può essere dimezzata.

5. Ai fini della procedura tabellare, la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra sorgente e bersaglio è assunta pari al massimo dei valori delle distanze d_i ottenute per tutte le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.

Determinazione Tabellare

B_i [m]	H_i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6
Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo. In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.																				

Tabella S.3-10: Coefficienti α e β per attività con carico di incendio specifico q_f > 1200 MJ/m²

Carico di Incendio «alto»

$$d_i = \alpha_i p_i + \beta_i$$

Carico di Incendio «basso»

B [m]	H [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	1,7	0,5	2,6	0,3	3,1	0,2	3,3	0,2	3,4	0,2	3,5	0,2	3,5	0,1	3,6	0,1	3,6	0,1	3,6	0,1
6	2,0	1,0	3,5	0,8	4,6	0,7	5,3	0,5	5,9	0,4	6,2	0,3	6,5	0,3	6,7	0,3	6,8	0,2	7,0	0,2
9	1,9	1,4	3,9	1,3	5,4	1,2	6,5	1,0	7,4	0,8	8,1	0,7	8,6	0,6	9,0	0,5	9,4	0,5	9,7	0,4
12	1,8	1,7	4,1	1,8	5,8	1,7	7,2	1,5	8,4	1,3	9,3	1,2	10,1	1,0	10,8	0,9	11,4	0,8	11,8	0,7
15	1,6	2,0	4,1	2,2	6,0	2,2	7,7	2,0	9,0	1,9	10,2	1,7	11,2	1,5	12,1	1,4	12,9	1,2	13,5	1,1
18	1,4	2,2	4,0	2,6	6,1	2,6	8,0	2,5	9,5	2,4	10,9	2,2	12,1	2,0	13,1	1,9	14,0	1,7	14,9	1,6
21	1,3	2,4	3,9	2,9	6,2	3,1	8,1	3,0	9,9	2,9	11,4	2,7	12,7	2,6	13,9	2,4	15,0	2,2	16,0	2,1
24	1,1	2,6	3,7	3,2	6,1	3,5	8,2	3,5	10,1	3,4	11,7	3,3	13,2	3,1	14,6	2,9	15,8	2,7	16,9	2,6
27	1,0	2,7	3,5	3,5	6,0	3,8	8,3	3,9	10,2	3,9	12,0	3,8	13,6	3,6	15,1	3,4	16,4	3,3	17,6	3,1
30	0,9	2,9	3,4	3,8	5,9	4,2	8,2	4,3	10,3	4,3	12,2	4,2	13,9	4,1	15,5	4,0	16,9	3,8	18,2	3,6
40	0,6	3,2	2,8	4,5	5,4	5,2	7,9	5,5	10,3	5,7	12,5	5,7	14,5	5,7	16,3	5,6	18,0	5,5	19,6	5,3
50	0,4	3,4	2,3	5,1	4,8	6,0	7,4	6,6	10,0	6,9	12,3	7,0	14,6	7,1	16,6	7,1	18,6	7,1	20,4	7,0
60	0,2	3,5	1,9	5,6	4,3	6,7	6,9	7,5	9,5	7,9	12,0	8,2	14,4	8,4	16,6	8,5	18,8	8,5	20,8	8,5
Per valori di B_i e Hi intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo. In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.																				

Tabella S.3-11: Coefficienti α e β per attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 1200$ MJ/m²

Determinazione Analitica

S.3.11.3 **Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione**

1. La presente *procedura analitica* consente di determinare la distanza di separazione che limita ad un qualsiasi valore E_{soglia} l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Il progettista determina gli *elementi radianti*, il *piano radiante* di riferimento per la distanza oggetto di analisi, le relative *piastre radianti* come descritto al paragrafo S.3.11.1.

10.3.3.2 Equations (10.5), (10.6), and (10.7) are plotted in Figure 10.3.3.2. This graph can be used as a solution by reading up the appropriate curve to locate the separation distance, then finding the corresponding critical rate of heat release.

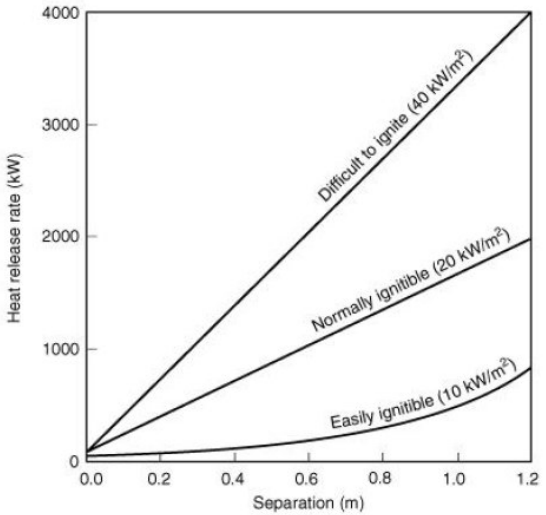


FIGURE 10.3.3.2 The Inverse Equation — Separation Distance versus Rate of Heat Release.

Determinazione Analitica

3. La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2\text{-}1} \cdot E_1 \cdot \varepsilon_f < E_{soglia} \qquad \text{S.3-3}$$

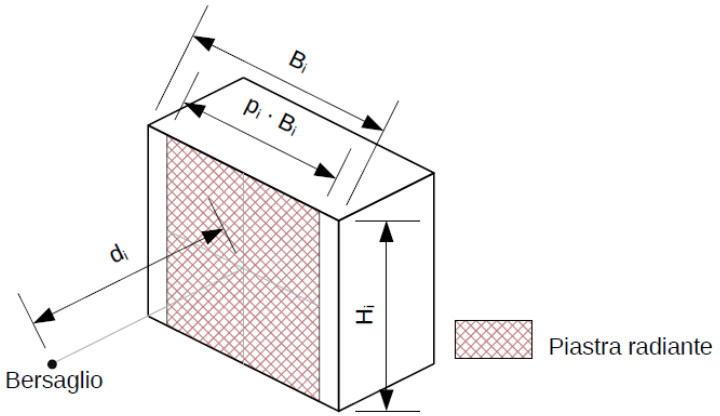
con:

$F_{2\text{-}1}$ fattore di vista

E_1 potenza termica radiante dovuta all'*incendio convenzionale* [kW/m^2]

ε_f emissività della fiamma

E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m^2]



4. Il *fattore di vista* $F_{2\text{-}1}$ relativo a piastra radiante rettangolare e bersaglio posizionato sull'asse di simmetria normale alla piastra è calcolato secondo la seguente relazione:

$$F_{2-1} = 2/\pi \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \arctan \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \qquad \text{S.3-4}$$

Determinazione Analitica

$$X = \frac{B_i \cdot p_i}{2\,d_i}, Y = \frac{H_i}{2\,d_i} \qquad \text{S.3-5}$$

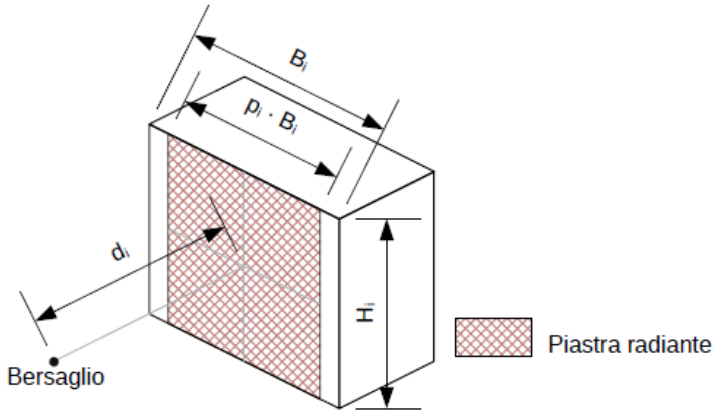
con:

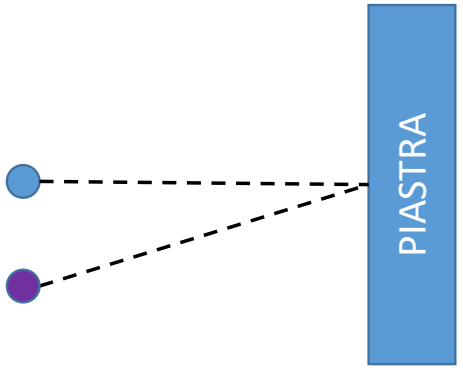
B_i larghezza i-esima piastra radiante [m]

H_i altezza i-esima piastra radiante [m]

p_i percentuale di foratura dell'i-esima piastra radiante

d_i distanza tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio [m]





Fattori di vista diversi.
Nell'Eurocodice è riportato il caso di più fattori di vista. La piastra radiante viene divisa in più parti.

Determinazione Analitica

3. La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2\text{-}1} \cdot E_1 \cdot \varepsilon_f < E_{soglia} \qquad \text{S.3-3}$$

con:

$F_{2\text{-}1}$ fattore di vista

E_1 potenza termica radiante dovuta all'*incendio convenzionale* [kW/m^2]

ε_f emissività della fiamma

E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m^2]

5. La potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 è imposta come segue in funzione del carico di incendio specifico q_f del compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante:

se $q_f > 1200$ MJ/m^2:

$$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (1000 + 273{,}16)^4 = 149 \text{ kW/m}^2 \qquad \text{S.3-6}$$

se $q_f \leq 1200$ MJ/m^2:

$$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (800 + 273{,}16)^4 = 75 \text{ kW/m}^2 \qquad \text{S.3-7}$$

6. L'emissività della fiamma ε_f è ricavata dalla seguente relazione:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0{,}3 \cdot d_f} \qquad \text{S.3-8}$$

Carico di Incendio «alto»
T alta

Carico di Incendio «basso»
T bassa

Determinazione Analitica

3. La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2\text{-}1} \cdot E_1 \cdot \varepsilon_f < E_{soglia} \qquad \text{S.3-3}$$

con:

$F_{2\text{-}1}$ fattore di vista

E_1 potenza termica radiante dovuta all'*incendio convenzionale* [kW/m^2]

ε_f emissività della fiamma

E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m^2]

5. La potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 è imposta come segue in funzione del carico di incendio specifico q_f del compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante:

se $q_f > 1200$ MJ/m^2:

$$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (1000 + 273{,}16)^4 = 149 \text{ kW/m}^2 \qquad \text{S.3-6}$$

se $q_f \leq 1200$ MJ/m^2:

$$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (800 + 273{,}16)^4 = 75 \text{ kW/m}^2 \qquad \text{S.3-7}$$

6. L'emissività della fiamma ε_f è ricavata dalla seguente relazione:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0{,}3 \cdot d_f} \qquad \text{S.3-8}$$

con:

d_f spessore della fiamma, pari a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma [m]

Nota Si specifica che per ricavare i valori delle tabelle S.3-10 e S.3-11 riferite alla *procedura tabellare* si è posto d_f pari a 2 m.

Determinazione Analitica – Soluzione Alternativa

Soluzione Alternativa -- Su che parametro possiamo agire?

3. La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2\text{-}1} \cdot E_1 \cdot \varepsilon_f < E_{soglia} \qquad \text{S.3-3}$$

con:

$F_{2\text{-}1}$ fattore di vista

E_1 potenza termica radiante dovuta all'*incendio convenzionale* [kW/m^2]

ε_f emissività della fiamma

E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m^2]

Critical Heat Flux

	CHF (kW/m^2)		TRP (kW·s$^{1/2}$/m^2)	
Material	ASTM E2058 FPA	ASTM E1354 Cone	ASTM E2058 FPA	ASTM E1354 Cone
Natural				
Flour	10	–	218	–
Sugar	10	–	255	–
Tissue paper	10	–	95	–
Newspaper	10	–	108	–
Wood (red oak)	10	–	134	–

Determinazione Analitica – Soluzione Alternativa

3. La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2\text{-}1} \cdot E_1 \cdot \varepsilon_f < E_{soglia} \qquad \text{S.3-3}$$

con:

$F_{2\text{-}1}$ fattore di vista

E_1 potenza termica radiante dovuta all'*incendio convenzionale* [kW/m^2]

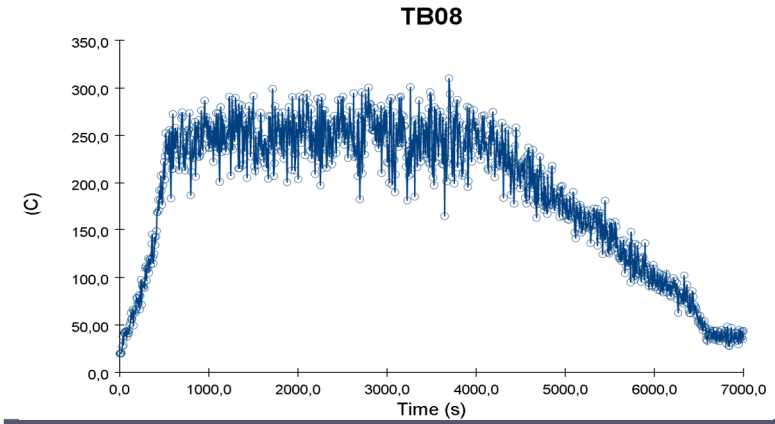
ε_f emissività della fiamma

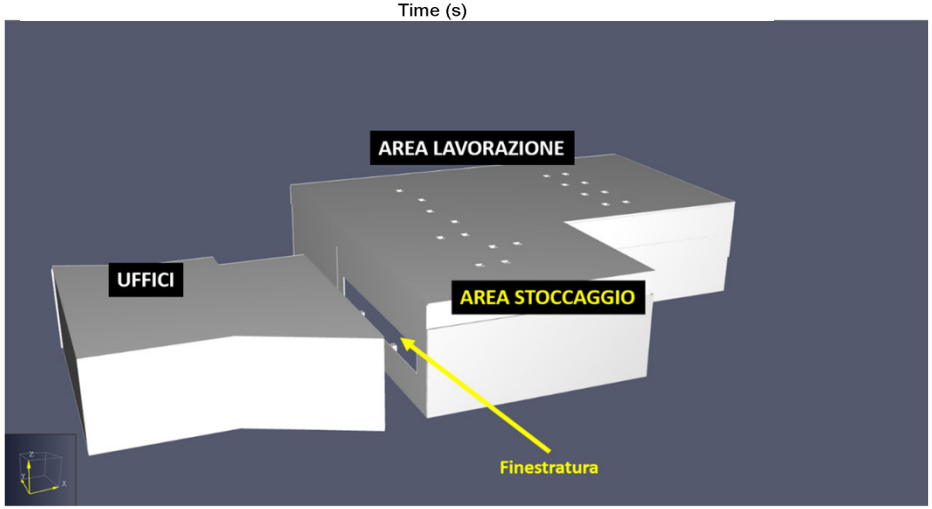
E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m^2]

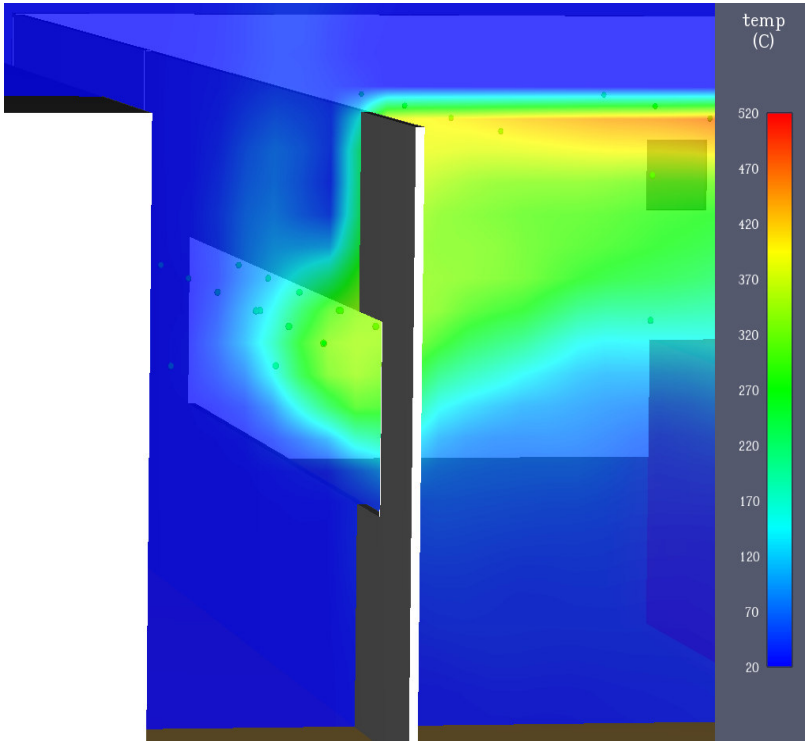
Critical Heat Flux

	CHF (kW/m^2)		TRP (kW·s$^{1/2}$/m^2)	
Material	ASTM E2058 FPA	ASTM E1354 Cone	ASTM E2058 FPA	ASTM E1354 Cone
Natural				
Flour	10	–	218	–
Sugar	10	–	255	–
Tissue paper	10	–	95	–
Newspaper	10	–	108	–
Wood (red oak)	10	–	134	–

Determinazione Analitica – Soluzione Alternativa







Determinazione Analitica – Soluzione Alternativa

Verifica distanza di separazione con soluzione alternativa (Metodo 1)

In base ai risultati della simulazione è emerso come la temperatura più gravosa nel volume prossimo alla finestratura sia pari a 300°C. Sfruttando la disuguaglianza S.3-3 proposta dal DM 18 Ottobre 2019 è ora possibile ricalcolare la potenza termica emessa, sfruttando la Legge di Stefan-Boltzmann, riportata nel DM 18 Ottobre 2019 con rifermento S.3-6. Tenendo presente che d_f è pari a 2/3 di H e quindi ε_f è pari a 0.4247, che il fattore di vista rimane immutato e che E_{soglia} è ancora considerato 12,6 kW/m² si procede al calcolo della potenza termica emessa e alla verifica della disuguaglianza.

$E_1 = \sigma T^4 = 6{,}1\ kW/m^2$

$F_{2-1}\, E_1\, \varepsilon_f = 0{,}66\ \frac{kW}{m^2} < E_{soglia}$

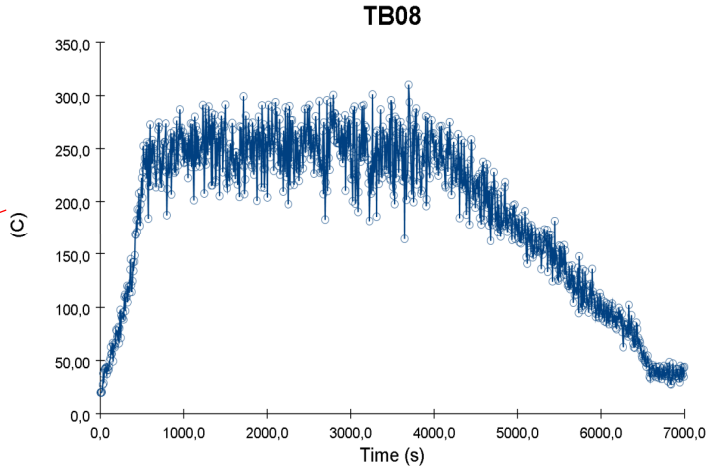
5. La potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 è imposta come segue in funzione del carico di incendio specifico q_f del compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante:

   se $q_f > 1200\ MJ/m^2$:

   $$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (1000 + 273{,}16)^4 = 149\ kW/m^2 \qquad S.3\text{-}6$$

   se $q_f \leq 1200\ MJ/m^2$:

   $$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (800 + 273{,}16)^4 = 75\ kW/m^2 \qquad S.3\text{-}7$$



4. Il *fattore di vista* $F_{2\text{-}1}$ relativo a piastra radiante rettangolare e bersaglio posizionato sull'asse di simmetria normale alla piastra è calcolato secondo la seguente relazione:

$$F_{2-1} = 2/\pi \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \arctan \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \qquad S.3\text{-}4$$

CONTACT

Ing. Daniele Andriotto - Fire Engineer
C. +39 393 5283518
andriottodaniele@gmail.com

Articoli **INGENIO**
https://www.ingenio-web.it/autori/andriotto-daniele

Bibliografia

- Rivista Antincendio, articolo “Resistenza al fuoco: l’impatto della Circolare DCPREV 9962 sulla progettazione secondo il Codice di Prevenzione Incendi “ Marco Antonelli, Daniele Andriotto, Diego Cecchinato.
- Rivista Antincendio, articolo “La valutazione della resistenza al fuoco con la curva dell'incendio naturale. Il ruolo dei sistemi di protezione“ di Daniele Andriotto, Giovanni Cosma, Luciano Nigro.
- Rivista Antincendio, articolo “ Eurocodice 3: la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio e l'influenza del fattore di sezione Am/V» di Daniele Andriotto, Ermanno Andriotto
- SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fifth Edition.
- “Progetto delle strutture resistenti al fuoco” di Buchanan Andrew H.; Gambarova Pietro; Felicetti Roberto. - Hoepli, Milano.
- UAE Fire Safety Code.
- BS 9999.
- Fruin, J. J. - Pedestrian Planning and Design (1987).
- Professor Bianco Università di Napoli II
- Professor Piva Stefano – Università di Ferrara